

WOGUO NONGCHANPIN


CHANDI TURANG ZHONGJINSHU ANQUAN

PINGGU FANGFA YANJIU

我国农产品 产地土壤重金属安全 评估方法研究

霍莉莉 © 著

非
外
借

 中国农业出版社

我国农产品产地土壤 重金属安全评估 方法研究

霍莉莉 著

中国农业出版社

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

我国农产品产地土壤重金属安全评估方法研究 / 霍莉莉著. —北京: 中国农业出版社, 2019. 8

ISBN 978-7-109-25498-5

I. ①我… II. ①霍… III. ①农产品—产地—土壤污染—重金属污染—安全评价—评估方法—中国 IV. ①X53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 091031 号

中国农业出版社

地址: 北京市朝阳区麦子店街 18 号楼

邮编: 100125

责任编辑: 闫保荣

版式设计: 杨婧 责任校对: 巴洪菊

印刷: 中农印务有限公司

版次: 2019 年 8 月第 1 版

印次: 2019 年 8 月北京第 1 次印刷

发行: 新华书店北京发行所

开本: 880mm×1230mm 1/32

印张: 9.25

字数: 250 千字

定价: 45.00 元

版权所有·侵权必究

凡购买本社图书, 如有印装质量问题, 我社负责调换。

服务电话: 010-59195115 010-59194918

前 言

农产品产地与食品安全以及人们健康息息相关，是国家经济、社会可持续发展的根本保证。受工业及乡镇企业“三废”、城市生活与交通、农用化学物质及畜禽粪便、高背景等多种因素的影响，我国农产品产地重金属污染形势严峻，并呈加速发展势头。近年来，陆续发生的“毒豇豆”、“镉米危机”等重金属污染事件，引起了人们对农产品质量安全的高度重视。农产品产地安全是农产品质量安全的源头。为保障农产品产地可持续利用及农产品质量安全，产地环境监测、防治以及分级管理势在必行，在策划管理行动以及制定相应的制度和政策之前，必须充分了解管理对象自身特有的属性，而目前我国产地环境质量状况还处于家底不清的状态，不利于农产品产地的合理利用和科学管理。明确我国农产品产地土壤重金属污染状况，是监测、防治和分级分区管理的重要前提和基础。

农产品产地土壤重金属污染程度、特征、危害等情况的制定必须依托有效的安全评估方法。本书分别从我国农产品产地土壤重金属污染现状、特点、成因和发展趋势，国内外主要评估方法，土壤-农作物系统重金属累积迁移规律，农产品产地土壤重金属安全评估核心问题及其他相

关评估问题等几个部分阐述了我国农产品产地土壤重金属安全评估方法。为我国农产品产地土壤重金属安全评估提供了具体方法，并且为进一步的相关研究提供了思路，为我国农产品产地土壤环境质量评估以及科学管理提供了科学基础，有利于促进农产品产地和农产品质量安全，对农业可持续发展具有重要意义。

我国幅员辽阔，产地类型和种植制度等复杂多样，并且农产品产地土壤重金属污染的影响因素繁多，本书编写过程中不可避免存在若干缺点和不足，敬请广大读者批评指正，以便我们在今后的工作中进一步完善。

编 者

2018年12月

目 录

前言

第一章 我国农产品产地土壤重金属污染现状	1
第一节 我国农产品产地土壤重金属污染现状	1
第二节 我国农产品产地土壤重金属污染分布与特点	37
第三节 我国农产品产地土壤重金属污染成因	39
第四节 我国农产品产地土壤重金属污染发展趋势	76
第二章 国内外主要评估方法	79
第一节 国内外土壤重金属限量标准	79
第二节 土壤重金属污染评价方法	94
第三章 土壤-农作物系统重金属累积迁移规律	110
第一节 土壤理化性质对土壤重金属迁移的影响	110
第二节 农作物吸收土壤重金属的敏感性	138
第三节 其他影响土壤重金属迁移的因素	232
第四章 农产品产地土壤重金属安全评估核心 问题及解决思路	244
第一节 评估参比值及等级划分	244
第二节 土壤和农产品协同评估	271

第三节 区域安全性划分	275
第五章 其他评估相关问题	282
第一节 高背景地区评估方法	282
第二节 空间插值技术选择	283

第一章 我国农产品产地土壤 重金属污染现状

第一节 我国农产品产地土壤 重金属污染现状

土壤是各种污染物最终的“宿营地”，是农产品污染的源头。耕地是农产品生产的物质基础，耕地土壤质量的好坏，关系到农产品质量安全、数量安全、生态安全等多个方面。2017年4月17日，环保部和国土部联合发布全国土壤污染状况调查公报，调查结果显示，全国土壤环境状况总体不容乐观，部分地区土壤污染较重，耕地土壤环境质量堪忧。从土地利用类型看，耕地、林地、草地土壤点位超标率分别为19.4%（轻微、轻度、中度和重度污染点位比例分别为13.7%、2.8%、1.8%和1.1%）、10.0%（轻微、轻度、中度和重度污染点位比例分别为5.9%、1.6%、1.2%和1.3%）、10.4%（轻微、轻度、中度和重度污染点位比例分别为7.6%、1.2%、0.9%和0.7%）。从污染类型看，以无机型为主，有机型次之，复合型污染比重较小，无机污染物超标点数占全部超标点位的82.8%。从污染物超标情况看，镉、汞、砷、铜、铅、铬、锌、镍8种无机污染物点位超标率分别为7.0%、1.6%、2.7%、2.1%、1.5%、1.1%、0.9%、4.8%，以轻微污染为主。当前我国大多数城市近郊土壤Cd污染面积较大，其次是Pb、Zn、Cu、Hg等。如广州市、重庆市农田土壤受Cd污染导致镉米。上海市宝山区、吴淞区郊区小麦地存在Zn、Cd、Cr、Hg、Cu、Pb污染。青岛市2.7%~9%的农田土壤分别受到Cr、Hg、Cd、As、

Pb、Cu、Zn 7 种重金属的轻污染。辽宁省鞍山市郊蔬菜基地土壤中重金属的污染分担率以 Cd 为最大，其次是 Hg，最低是 Pb。

据农业部进行的全国污灌区调查，在约 140 万 hm^2 的污灌区中，遭受重金属污染的土地面积占污水灌区面积的 64.8%，其中轻度污染占 46.7%，中度污染占 9.7%，严重污染占 8.4%，以轻中度污染为主。2017 年的全国土壤污染状况调查公报显示，在调查的 55 个污水灌溉区中，有 39 个存在土壤污染。在 1378 个土壤点位中，超标点位占 26.4%，主要污染物为 Cd、As 和多环芳烃。新疆每年约有 $2 \times 10^8 \text{t}$ 工矿废水进入农业环境，全区污灌面积约 $2.56 \times 10^4 \text{hm}^2$ 。广东省佛山市污灌区菜地受到 Cd、Pb、Cr、Hg 的轻度和中度污染，土壤中作物受 Cd 污染导致镉米。上海市的川沙污灌区 Cd 含量水平超过当地土壤背景值的 100 倍左右。武汉市易家墩污水灌区，土壤的 Cd 含量范围为 $0.185 \sim 3.870 \text{mg/kg}$ 。河北省保定市污灌区蔬菜地 Pb、Cd、Cu、Zn 污染严重。江西大余县污灌引起的 Cd 污染面积达 5500hm^2 ，轻中度污染为主。北京污灌区菜地存在 Cd、Hg、Pb 污染，如东南郊污灌区朝阳、大兴、通州三个区县 Cd 的平均含量分别是北京市背景值的 1.9 倍、2.9 倍和 1.07 倍，95% 的样品中（41 个采样点）Hg 含量都超过了北京市背景值；凉水河污灌区土壤受到 Cu、Cd、Cr、Pb 不同程度的污染，其含量分别为 66.2mg/kg 、 0.07mg/kg 、 66.98mg/kg 、 109.5mg/kg 。沈阳张士灌区因污灌使 $2.5 \times 10^4 \text{hm}^2$ 农田遭受 Cd 污染；沈抚灌区土壤中重金属的平均浓度范围分别为 Cu: $22.1 \sim 40.8 \text{mg/kg}$ ，Hg: $0.036 \sim 0.310 \text{mg/kg}$ ，Ni: $29.8 \sim 44.4 \text{mg/kg}$ ，Cd: $0.145 \sim 0.956 \text{mg/kg}$ 。

湖南省金属矿区广布，如湘中地区、长沙、株洲、衡阳、郴州、石门、冷水江、桂阳、花垣等地周边水稻田和菜地土壤中存在 Cd、Pb、Hg、As 等的污染。云南省个旧、昆明和兰坪矿区周边农田土壤存在 Cd、Cu、Pb、Zn、Cr 污染。广东省东莞、汕头、

清远、韶关、梅县企业周边和矿区周边菜地存在 Cd、Cu、Pb、Zn 污染；四川省冕宁县稀土尾矿坝区周边农田存在 Pb、Cu、Cr、Cd、Zn、Cu、Ni 污染；越西县矿区周边农田土壤 Cd 轻度污染，Cr 存在潜在危害。浙江省台州电子拆解区周边水稻土壤中存在 Cd、Pb、Cu、Zn 污染。山西省太原污灌区存在 Cd、Hg、Pb、Zn 污染。湖北省大冶和恩施矿区周边水稻和菜地土壤存在 Cd 和 Cu 污染。江苏宜兴、南京、滁州矿区周边水稻田、小麦田和蔬菜地土壤存在 Cd、Pb、Cu 污染。贵州省贵阳、赫章的矿区周边土壤存在 Cd、As、Pb、Hg、Cu 污染。河南省新乡市环宇大道两侧工业区周边小麦地土壤中锌的含量为 225.82~2 010.65mg/kg，平均含量为 638.54mg/kg，是国家土壤环境质量二级标准（GB15618—1995）的 2.13 倍，土壤中 Cd 的含量为 10.32~76.12mg/kg，平均含量为 19.45，是国家土壤环境二级标准的 31.8 倍。陕西潼关、蓝田矿区周边菜地和农田存在 Cd、Hg、Pb、As、Cr 污染。辽宁省葫芦岛、阜新、细河沿岸和卧龙河流域矿区周边水稻田、玉米地和菜地土壤存在 Cd、Hg、Pb、Zn、Ni 污染。

近年来人们发现不仅在大中城市郊区、污灌区、工矿企业周边土壤存在重金属污染问题，在一些一般农区、商品粮基地和基本农田保护区同样存在土壤重金属污染问题，但污染程度较轻，零星分布。如表 1-1 所列，广东省深圳市蔬菜基地存在 Ni、Cu、As、Zn 轻度和中度污染。云南省乍甸一般农区油菜籽地土壤存在 As、Cd 污染；芦笋种植区 Pb 污染严重，Zn 轻微污染。重庆市全境范围内 39 个区县 468 个一般农田（水稻、玉米）土壤样品的调查表明土壤存在 Pb、Cd、Ni、As、Cu、Zn、Cr 污染。福建省 53 个蔬菜基地土壤 Cd、Pb、Hg、As、Cr 的污染率为 26.4%，其中 64.2%为轻度污染。贵州省遵义市 15 个乡镇的一般农田土壤 Cd、Hg、Cr、As 中轻度污染；清镇市和德江县一般农区 Cd、Pb、Hg 的轻度污染；黔南布依族苗族自治州的茶园土壤受到不同程度的

表 1-1 文献报道的我国农产品产地土壤重金属污染信息

省份	研究区域	土壤污染程度(土壤二级标准 GB—1995)	主要污染重金属	农作物	区域类别	文献发表年份
安徽	繁昌县	较明显	Cd, As, Zn, Cr, Hg, Pb	典型农业区	该县狄港镇为联合国环境规划署小城镇建设试点	1998
	江淮之间	Zn, Cu, Ni, Pb, Cd 明显积累, Cd 最严重	Cd, Cu, Pb, As	农田	污水灌溉	2007
	铜陵	严重	Cd, Cu, Pb, As	水稻	矿区周边、污灌	2007
	铜陵	不同程度的污染	Cd, Cu, Pb, As, Zn, Hg, Cr	农田	铜陵矿区	2007
	芜湖市	复合污染	Cu, Zn, Pb, Ni, Mn	农田	冶炼厂周边污灌	2005
	芜湖市	严重	Cu, Zn	水稻	冶炼厂周边	2004
	宿州、五河、太和、濉溪、寿县	局部 Cd 污染严重	Cd, Cu, Zn	水稻、油菜	大中城市郊区	2007
	合肥市	无污染和轻度	Zn, Pb, Cu, Cd, Cr	小白菜、香葱、芹菜、茄子和韭菜、豆角	城市郊区菜园	2008
	六安市	中度	Cu, Zn, Pb, Ni, Mn	蔬菜	蔬菜地	2005
	徐州市	超过背景值, 对照二级标准未超标	Pb, Cd, Hg, As, Cr, Cu	茄子、辣椒、番茄、黄瓜	农产品生产基地	2003

(续)

省份	研究区域	土壤污染程度(土壤二级标准 GB-1995)	主要污染重金属	农作物	区域类别	文献发表年份
北京	通惠河凉水河	较严重	Cd、Hg、Pb	菜地	污灌区	2007
	东南郊	中度到重度	Cd、Hg	菜地	原污灌区	2007
	凉水河	不同程度和复合污染	Cd、Pb、Cu、Cr	农田	污灌区	2008
	大兴、通州、密云	中度和低度	Cd、Hg	农田	整个城区	2011
福建	北野厂	存在	Cd	小麦	再生水灌区	2011
	兴化平原	尚清洁、局部 Hg 污染	Hg	农田	一般农区	2006
	23 个城市 46 片主要常年蔬菜生产基地,代表蔬菜种植面积 1 726.67hm ²	53 个土壤污染调查样中有 14 个调查样点不合格,污染率 26.4% 其中,重度污染 4 个、中度污染 1 个,轻度污染 9 个	Cd、Pb、Hg、As、Cr	蔬菜	蔬菜基地	2004
甘肃	兰州安宁、西固、城关、七里河、定远、花庄、平安、忠和 8 个蔬菜基地	轻度、Cd 最严重	Sn、Cd、Cr、Cu、Pb、Zn	蔬菜	蔬菜基地	2010
	白银市	轻度和严重	Cd、Zn	农田、菜地	污灌区	2002
	兰州市	轻度污染	Pb、Zn、Cu、Cr、As	蔬菜	蔬菜基地	2009

(续)

省份	研究区域	土壤污染程度(土壤二级标准 GB—1995)	主要污染重金属	农作物	区域类别	文献发表年份
广东	东莞	中度和重度	Cd, Cu, Zn	菜地	不同产业类型城镇周边	2009
	佛山	轻度和中度	Cd, Cu	菜地	大面积连片蔬菜种植农田	2005
	佛山	轻度和中度	Hg, Cd	菜地	市郊区污灌	2009
	佛山市市郊	轻度和中度	Cd, Pb, Cr, Hg	菜心、西洋菜、白菜	污灌区	2009
	广州	轻度	Sn, Pb, Cu, Zn	农田	市区	2009
	广州	不同程度	Hg, Pb, Cu, Zn, As	林地	市区林地	2012
	深圳市	轻度和中度	Ni, Cu, As, Zn	蔬菜	蔬菜基地	2011
	汕头	严重污染	Cd, Cr, Cu, Pb, Zn	农田	贵屿电子垃圾处理场	2011
	清远市龙塘镇	严重	Cd	农田	电子垃圾回收区	2012
	东莞	轻度污染	Cd	菜地	市区	2008
	汕头	检出率 100%	Cu, Zn, Pb, Cd, Hg	菜园、水稻	电子垃圾场	2007
	韶关曲江区和五江区	严重	Cd, Pb, Hg, As	稻田	冶炼厂周边	2010
	梅县白渡镇嵩溪村	Cd 最严重。林地污染最为严重,其次为荒地和农田,果园相对较轻	Cd, Ni, Zn, Cr	荒地、林地、农田、果园	银梯矿区周边	2009

(续)

省份	研究区域	土壤污染程度(土壤二级标准 GB-1995)	主要污染重金属	农作物	区域类别	文献发表年份
广西	南宁	轻度	Cd、Hg	水稻、蔬菜	郊区	2000
	桂林	中、轻、重	Mn、Cd	水田	矿区周边	1998
	八一、荔浦、平乐、全州、板苏和下雷 6 个锰矿食用农作物恢复区	严重	Mn、Cd	农田	锰矿复垦区	2009
	南宁	不同程度	Pb、Cd、Cr、As、Hg	菜地	郊区	2004
	环江县	轻度	As、Pb、Cd、Zn	油菜、茼蒿、生菜、小白菜、稻米	受污染农田	2010
	赫章县	严重	Zn	农田	锌矿周边	2009
贵州	无具体地点	严重	Pb、Cr、Hg、Cd	农田水稻、玉米、萝卜、西红柿	铅锌矿区	2009
	贵阳	严重	As、Cd	菜地	郊区	2001
	遵义县	严重	Cd、Hg、As	菜地	郊区	2008

(续)

省份	研究区域	土壤污染程度(土壤二级标准 GB—1995)	主要污染重金属	农作物	区域类别	文献发表年份
贵州	雷山西江、施秉牛大场、惠水摆榜、余庆龙溪镇、荔波驾鸭乡、湄潭洗马乡、凤冈绥阳镇、清镇麦格乡、贵阳乌当百宜乡	严重	Cd, Cu	药材	药材基地	2006
	黔北	安全、未受污染	Cd, Hg, Pb, Ni	小麦、高粱	一般农区	2008
	黔南州 8 个县(市) 惠水县、瓮安县、贵定县、都匀市、长顺县、荔波县、平塘县、罗甸县)	不同程度污染	As, Pb, Cr	茶	茶园	2012
遵义县 15 个乡镇 清镇市、德江县		轻度和中度	Cd, Hg, Cr, As	农田	一般农区	2009
		轻度	Pb, Cd, Hg	农田	一般农区	2008

(續)

省份	研究區域	土壤污染程度(土壤二級標準 GB—1995)	主要污染重金屬	農作物	區域類別	文獻發表年份
貴州	遵義縣蝦子鎮、永樂鎮、新舟鎮和喇叭鎮	土壤 Cd、Hg、As 均有超標, Cd 的超標率分別為 64.3%、31.3%、23.5% 和 6.3%, Hg 的超標率分別為 37.5%、11.8%、12.5% 和 28.6%, As 的超標率分別為 6.3%、23.5%、31.3% 和 28.6%	Cd、Hg、As	辣椒、西紅柿、黃瓜、豇豆	一般農區	2008
	安順、黔东南、黔南、銅仁、六盤水、黔西南、畢節、貴陽	未污染和輕污染	As、Hg、Pb、Cr、Cd	煙葉	植煙區	2009
海南	全省範圍內 311 個點	輕度和中度分布在海口、東方、琼海、三亚、儋州	Cd、As、Pb	農田	全省範圍	2013
	萬宁市各鄉鎮	未污染	Hg、Cd、Cr、Pb、As	水稻	一般農區	2009
河北	石家莊无极縣	輕度	Cr	農田	國家級重金屬污染重點防控區農田	2013

(续)

省份	研究区域	土壤污染程度(土壤二级标准 GB—1995)	主要污染重金属	农作物	区域类别	文献发表年份
河北	15县	部分地区轻度	Cu、Zn、Ni、Pb、Cd、Hg	农田	玉米主产区	2005
	石家庄市	严重	Cd	农田	污灌区	2010
	保定市	严重	Pb、Cd、Cu、Zn	芹菜、白菜、大葱、 根菜类的芥菜、萝卜 和果菜类的辣椒	污水灌区	2002
	高阳、大名、肥乡、 霸州、献县、正定、 大名、迁安、清苑、 承德等 15 县	轻污染水平的土壤面积 占到了总面积的 4.6%	Cd、As、Hg、Cu、Cr	玉米	玉米主产区	2005
	太行山山前平原区 正定、栾城等 28 个 县和燕山山前平原 区的丰润等 3 县	达到轻污染水平的土壤面积占 到了总面积的 4.3%，中度污染 的土壤面积占总面积的 0.07%	As、Cd、Hg、Cu	小麦	优势小麦产区	2005